

VU Research Portal

Aarde, water, lucht en vuur : over klimaat-biosfeer interacties

Rozema, J.

2004

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Rozema, J. (2004). *Aarde, water, lucht en vuur : over klimaat-biosfeer interacties*. VU Boekhandel/Uitgeverij.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

00075

ZB

prof.dr. J. Rozema

Aarde, water, lucht en vuur
over klimaat-biosfeer interacties

vrije Universiteit



000 75.2B

prof.dr. J. Rozema

*Aarde, water, lucht en vuur
over klimaat-biosfeer interacties*

*Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar
Klimaatverandering-Biosfeer Interacties aan de faculteit der Aard-
en Levenswetenschappen van de Vrije Universiteit Amsterdam
op 20 februari 2004.*

vrije Universiteit

amsterdam

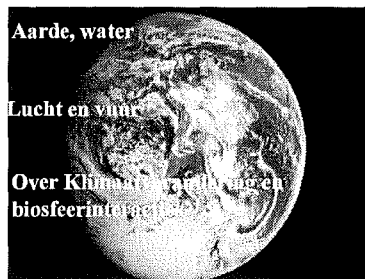




Mijnheer de Rector, dames en heren,

De vier elementen

De vier elementen uit de leer van Aristoteles hebben eeuwenlang het denken over natuur en milieu bepaald. Het heelal stelde Aristoteles zich voor als een reeks concentrische sferen, met in het midden de aarde, bedekt door een laag oceaankwater, die weer door lucht omgeven is, terwijl zich daaromheen een vuursfeer bevindt. Om deze vier concentrische sferen heen liggen de hemelse sferen, de planeten, de zon en de sterren.

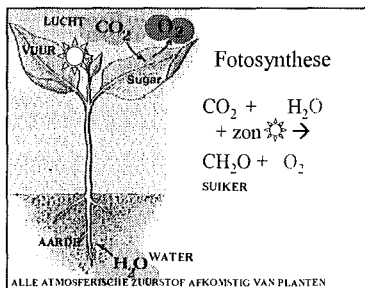


Wat hebben aarde, water, lucht en vuur met interacties tussen klimaat en biosfeer te maken?

Water is al het zoete en zoute water, de oceanen. Lucht staat voor kooldioxide en zuurstof, die we uit- en inademen en vuur staat voor de zon. De zon is de motor van het klimaatsysteem. Zonder zon geen opwarming van de aarde, zonder zon geen luchtstromingen.

In combinatie met water en kooldioxide is het ook de zon, die planten energie geeft om suikers te produceren en maakt dat de aarde groen is.

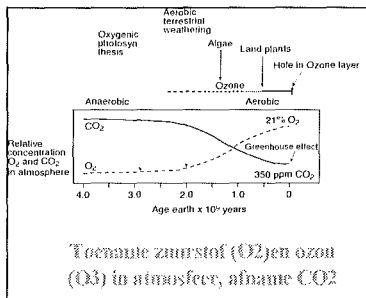
Kooldioxide vormt samen met water, en onder gebruikmaking van zonne-energie, suikers en zuurstof. En omdat er zonlicht voor deze synthese nodig is, wordt dit proces fotosynthese genoemd. Bij de fotosynthese wordt kooldioxide uit de lucht, de atmosfeer dus, weggenomen in ruil voor



zuurstof, die bij de fotosynthese vrijkomt. Om preciezer te zijn, alle zuurstof die wij inademen, en die in de atmosfeer voorkomt, is afkomstig uit de fotolytische splitsing van water. Deze bijzondere combinatie van aarde, water, lucht en vuur, vormt de basis van de fotosynthese, van het plantenleven op aarde.

Ooit, zo'n 4 miljard jaar geleden, kwam er veel kooldioxide in de atmosfeer voor en geen zuurstof. Na een miljard jaar, ontstond het fotosynthese proces in algen in het water van de oceanen en kwam er zuurstof in het water en in de atmosfeer. Door dit fotosyntheseproces vertonen aarde, klimaat en atmosfeer, een sterke wisselwerking, een interactie met het plantenleven, dat is dus de biosfeer op aarde.

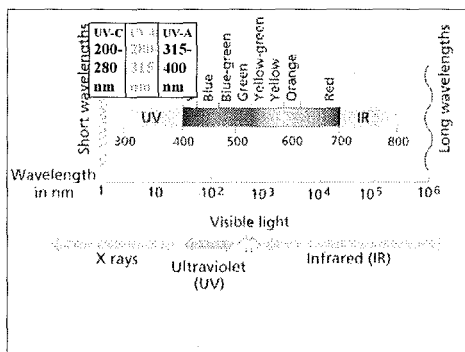
De zuurstof in de atmosfeer is waarschijnlijk sterk gaan toenemen, toen planten



niet meer alleen in de oceaan groeiden, maar ook op het land. Aangenomen wordt, dat dit zo'n 450 miljoen jaar geleden gebeurd is, aan het einde van het Ordovicium. Het CO_2 gehalte van de lucht is daarmee steeds lager geworden.

Die stap van plantenleven in de natte oceaan naar plantenleven op het droge land is overigens helemaal niet zo voor de hand liggend en gemakkelijk geweest.

Want de zonnestraling die energie voor de fotosynthese van planten levert, kent, om zo te zeggen, ook een schaduwzijde. Immers, een deel van de zonnestraling, om precies te zijn, de ultraviolette straling, kan het leven beschadigen. We onderscheiden UV-C straling met een golflengte van 200-280 nm en deze straling is heel schadelijk voor al het leven. Deze straling komt gelukkig van nature niet op aarde voor. Dan komt UV-B straling van 280 tot 315 nm, en dan UV-A straling van 315 tot 400 nm. UV-A straling komt uit zonnebanken en



maakt onze huid bruin.

Doordat de ozonlaag alle UV-C straling en een deel van de UV-B straling wegfilt, komen op aarde alleen golflengtes van 296 nm en groter voor.

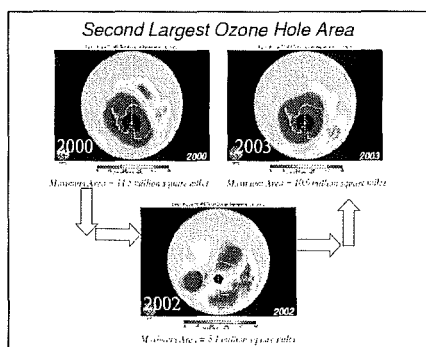
Ultraviolette straling wordt gedempt door het oceaanwater, en daardoor hebben algen weinig last van UV-B straling. De waterkolom beschermt zo het plantenleven in de oceanen.

Het gat in de ozonlaag

Hoe ontstaat eigenlijk de ozonlaag? We weten dat planten zuurstof produceren en dat de UV-C straling zuurstofmoleculen in de atmosfeer uiteen doet vallen. De zuurstof atomen vormen in combinatie met nog intacte zuurstofmoleculen ozon, O_3 moleculen. Deze ozon-moleculen absorberen kortgolvlige zonnestraling en vallen daarbij weer uiteen. Netto overheerst de ozonvorming. Door het ontstaan van het ozongat weten we dat CFK's de ozon in de stratosfeer kunnen afbreken en dat door een dünnere ozonlaag meer UV-B straling de aarde bereikt.

In 1981 zorgde een publicatie van de Brit Chris Farman in Nature over ozonmetingen boven de Zuidpool, voor grote opschudding. Het ging in feite om routinemetingen van het ozongehalte in de atmosfeer, zoals die ook op andere

plaatsen op aarde werden gedaan. Uit metingen boven het Britse zuidpoolstation Halley, bleek vanaf 1975 een afname van ozon hoog in de atmosfeer op te treden. De Nederlandse Nobelprijswinnaar Prof Paul Crutzen, kon de ozonafbraak spoedig verklaren uit de uitstoot van CFK's, chloor-fluor-koolwaterstoffen, die in de voorafgaande jaren van sterke industrialisatie, was opgetreden. CFK's zijn bijzonder inert, en kunnen tot grote hoogte de atmosfeer in diffunderen, waar ze onder invloed van kortgolvlige zonnestraling uiteenvallen en de vrijkomende chloor-atomen breken de ozonlaag af. Het ozongat boven de zuidpool is vanaf 1975 tot nu toe elk jaar opgetreden, er zijn geen tekenen van herstel en sinds het jaar 2000 is er in het voorjaar ook sprake van sterke ozonafbraak boven de Noordpool. Hoewel er in 2002 sprake was van twee kleinere gaten boven de Zuidpool, bereikte het ozongat in 2003 boven de



Zuidpool weer bijna een recordgrootte. Door het dunner worden van de ozonlaag, bereikt meer UV-B straling de aarde.

Lange tijd is er grote bezorgdheid geweest over de gevolgen van dit gat in de ozonlaag. Immers, de UV-B straling, kan huidkanker veroorzaken en het immuunsysteem aantasten, en niet alleen mensen, maar ook dieren en planten lopen gevaar.

Aanpassingen van planten aan UV-B

Met onze onderzoeksgroep aan de VU verrichten we sinds 1990 onderzoek naar de gevolgen van verhoogde UV-B straling voor planten en ecosystemen.

Wanneer we de balans opmaken van de gevolgen van het gat in de ozonlaag voor planten en ecosystemen, dan lijkt dat vooralsnog mee te vallen.

Door verhoogde UV-B straling kan DNA schade optreden, verminderde groei, en lengte afname, maar gelukkig zijn mensen en planten door onder andere UV-B absorberende pigmenten behoorlijk goed tegen UV-B straling beschermd.

Uit het werk van onze promovenda Barbara Meijkamp, weten we dat UV-B straling de vorming van het flavonoid quercetine induceert. Het quercetine zit in de buitenste laag van planten, de epidermis, en vangt het schadelijke UV-B weg, terwijl zichtbaar licht, met een golflengte van 400-700 nm, juist wordt doorgelaten. Dit UV-B geïnduceerde flavonoïde werkt dus als een effectief UV-B filter.

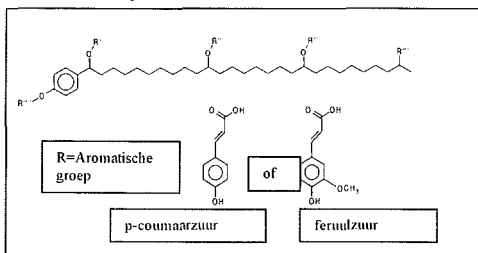
De kortgolvlige UV-B straling kan het DNA van planten beschadigen, doordat bijvoorbeeld thymine-thymine dimeren ontstaan. Wanneer er voldoende zonlicht aanwezig is, induceert dit het enzym DNA-fotolyase om de ongewenste dimeren

weg te knippen en de DNA-schade te herstellen. Als er toch schade overblijft kan de groei verminderd zijn.

In haar onderzoek naar effecten van UV-B straling op kranswieren vond Nancy de Bakker uit onze groep inderdaad dergelijke DNA schade en de lengtegroei nam af. Er konden bij deze kranswieren geen UV-B absorberende pigmenten worden gevonden.

De schade van verhoogde UV-B straling bij planten, zeker bij landplanten, is overal het algemeen beperkt.

Wat wel in alle onderzoek naar voren komt, is dat landplanten bij verhoogd UV-B altijd meer UV-B absorberende pigmenten vormen. Vanuit de plantenfysiologie valt dit goed te begrijpen, omdat de enzymen Phenyl Alanine Ammonia Lyase, kortweg PAL en Chalcone Synthase, afgekort CHS, door zonne-UV-B worden gestimuleerd. De inductie van deze enzymen leidt niet alleen tot vorming van flavonoiden en sporopollenine, maar ook tot de vorming van lignine, de houtstof van bomen. En dan gaat het er vooral om, dat door UV-B meer aromatische groepen, fenol-groepen, worden geïnduceerd. Sporopollenine vormt een onderdeel van de wand van stuifmeelkorrels en omdat het zo moeilijk afbreekbaar is, kan het heel lang, wel miljoenen jaren goed bewaard blijven.



Aangenomen wordt, dat sporopollenine uit een alifatische keten bestaat, met daaraan aromatische groepen. Waarschijnlijk vormt coumaarzuur er een hoofdbestanddeel van, maar ook feruulzuur kan een rol spelen.

Waarschijnlijk beschermt het coumaarzuur in het sporopollenine de inhoud van de stuifmeelkorrels tegen schadelijke UV-B straling.

Deze toespraak gaat over Klimaatverandering-Biosfeer interacties. De aandacht voor gevolgen van UV-B straling wordt nog steeds sterk bepaald door het door de mens veroorzaakte gat in de ozonlaag. We hebben vastgesteld dat UV-B straling de aanmaak van fenolzuren en flavonoiden stimuleert. Wat we niet weten is hoe het vòòr het gat in de ozonlaag was. De vroegste instrumentele metingen van UV-B straling en van ozon in de stratosfeer dateren van 1920 en van voor die tijd is er vrijwel niets bekend.

Reconstructie historisch UV-B en ozon: coumaarzuur in sporopollenine als klimaat-bio-proxy

Hoe zouden we dan wel informatie kunnen verkrijgen over de ozonlaag in het verleden en UV-B straling op aarde?

Om iets over het verleden te kunnen zeggen, moet er iets bewaard zijn gebleven en om ozon en UV-B in het verleden te reconstrueren, zoeken we naar bewaard gebleven plantenresten waarin gevolgen van UV-B straling zijn vastgelegd. En dankzij het zeer bioresistente sporopollenine blijven stuifmeelkorrels in de bodem lang, soms zelfs heel lang, bewaard. Verder weten we nu dat UV-B absorberende stoffen in planten toenemen als zij blootgesteld worden aan verhoogde UV-B straling.

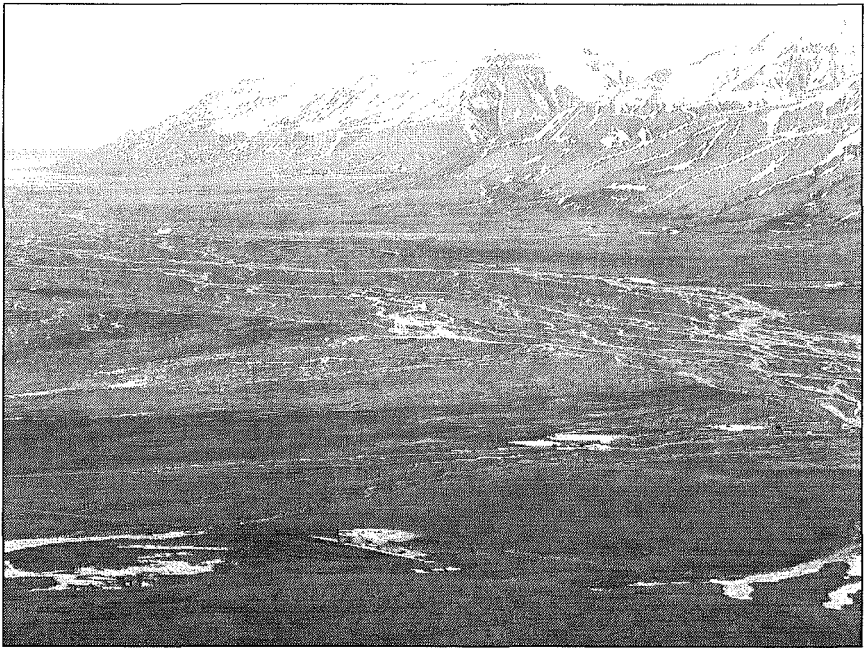
In ons onderzoek gaan we nu na, hoe verhoogde UV-B straling flavonoiden en coumaarzuur in stuifmeel stimuleert. En door dit ook te meten in fossiel stuifmeel, leiden we hieruit af, hoe sterk de UV-B straling in het verleden was. Dit betekent, dat we niet alleen naar de gevolgen van UV-B straling voor de chemie van planten kijken, maar dat we deze relatie ook omdraaien en nagaan hoe de chemie van planten ons iets vertelt over het klimaat in het verleden. Zo gebruiken we het coumaarzuurgehalte in fossiel stuifmeel als klimaat bio-indicatie, als klimaat bio-proxy voor historisch UV-B.

Voor dit klimaat-bio-proxy onderzoek willen we weten hoe de chemie van



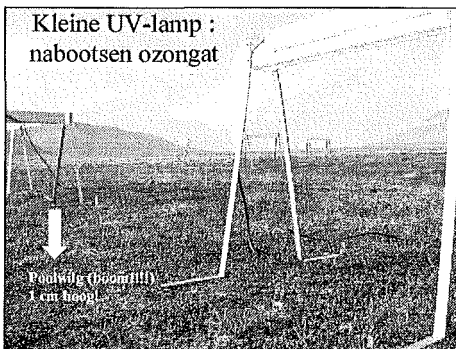
stuifmeel verandert, als we planten blootstellen aan verhoogd UV-B.

We onderzoeken dit door boven de planten op de Noord- en Zuidpool lampen met UV-B straling te plaatsen. Met deze toegevoegde UV-B straling bootsen we het dunner zijn van de ozonlaag na, en we doen dat in verschillende gradaties, bijvoorbeeld een 15, 30 of 50 % dunnere ozonlaag. Ik neem u nu mee naar de



Noord- en Zuidpool en laat u zien wat voor onderzoek we er de laatste jaren hebben uitgevoerd.

We zijn nu aangekomen op Spitsbergen, waar op twee plaatsen onze UV lampen

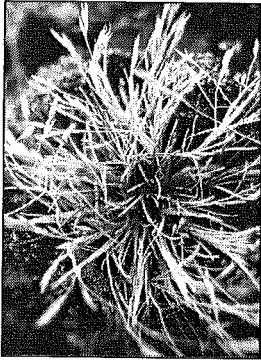


staan opgesteld, bij Adventdalen, dat is een gletsjerdal dat uitkomt in het Isfjorden en bij Isdammen. Op de achtergrond ziet u het Isfjorden. Naast de grote UV lampen opstelling, hebben we de bestralingsexperimenten van toendra planten sinds 2002 uitgebreid met kleine UV lampen. De grote UV lampen zijn al sinds 1996 elke zomer opgesteld en we zien dat de Poolwilg, na 7 jaar UV-

B bestraling, in bedekking is afgenomen. Bij de andere toendra planten zien we geen afname door UV-B en die planten zijn dus ongevoelig. Bij de Poolwilg blijkt meer DNA schade op te treden dan bij de Klokjesheide.

De kleine UV lampen die u op Spitsbergen zag, staan ook opgesteld boven planten die op de Zuidpool groeien.

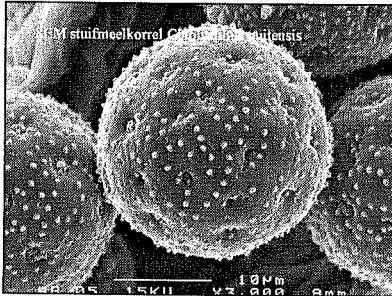
Deze lampen werden eerder gebruikt op Leonie Island en door Dr Daniela Lud voor haar UV-B onderzoek aan Zuidpoolplanten.



Ze zijn vorig jaar door Peter Boelen en Karin de Boer op het zuidpooleiland Signy geïnstalleerd en de afgelopen maanden heeft Drs Stef Bokhorst de lampen beheerd en gecontroleerd.

Vorig jaar hebben Peter Boelen en Karin de Boer kleine UV lampen op het Zuidpooleiland Signy geplaatst. In tegenstelling tot de Noordpool, Spitsbergen, waar wel 160 hogere plantensoorten voorkomen, komen op de Zuidpool niet meer dan twee hogere plantensoorten voor: een soort vetmuur, *Colobanthus quitensis*, en een grasje, namelijk de Zuidpoolsmele, *Deschampsia antarctica*.

Archieven van historisch UV-B en ozon: herbaria en bodemkernen

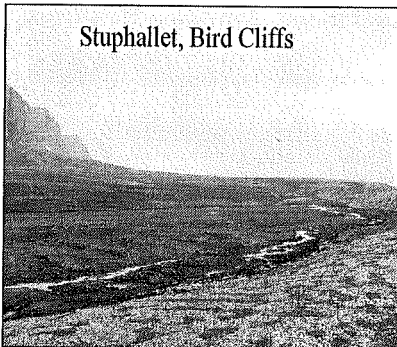


Nu heeft u onze UV lamp-opstellingen op de Noord- en Zuidpool gezien en u weet hoe toendraplant worden blootgesteld aan verhoogde UV-B straling.

Ik laat u nu verder de stappen zien, die we in het onderzoek volgen over onze UV klimaat-bio-proxy.

Hier ziet u zo'n stufmeelkorrel van *Colobanthus quitensis*, één van de twee planten die op de Zuidpool groeien,

sterk vergroot. Het is een opname gemaakt met de Scanning Electron Microscoop door Saskia Kars van onze Faculteit. Het feit dat sporopollenine zo moeilijk afbreekbaar is, heeft ook het chemisch onderzoek naar de structuur ervan bemoeilijkt.



Maar toepassing van moderne pyrolyse Gaschromatografie gecombineerd met Massaspectrometrie heeft daar verandering ingebracht. Pyrolyse betekent dat het stufmeel verhit wordt en dat bij die verhitting brokstukken vrijkomen -waaronder coumaarzuur- die met gaschromatografie worden gescheiden en samen met massaspectrometrie worden geïdentificeerd en gekwantificeerd.

In ons onderzoek over de UV klimaat-

bio-proxy komen we nu toe aan het in archieven zoeken naar oud stuifmeel waarvan we de ouderdom weten. Dit doen we door in plantenverzamelingen, herbaria, naar stuifmeel te zoeken. In het Nationaal Herbarium in Leiden zijn planten bewaard gebleven uit 1550. Een ander archief bestaat uit stuifmeel dat bijvoorbeeld in veenbodems goed bewaard is gebleven. De ouderdom van die bodemkernen kan met de C-14 methode worden bepaald.

Hiervoor neem ik u nog een keer mee naar de Noord- en Zuidpool, waar we de laatste zomers bodemkernen hebben gestoken. Op Spitsbergen, ver boven de poolcirkel, ontdooit 's zomers maar een dun laagje van de toendra-bodem en door de lage temperatuur en de vorst wordt het plantemateriaal nauwelijks afgebroken.

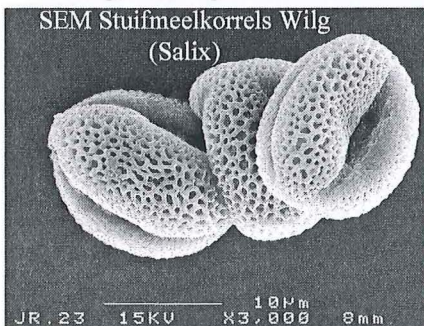
Zo heeft zich bij Stuphallet aan de voet van steile rotsen, waar veel zeevogels broeden, een toendraveen gevormd. De permafrost zit op 20-30 cm diepte en het veenpakket van een meter dik, is ongeveer 4 tot 5000 jaar oud.



En met de *hand* of met de *motorboor* is het ons gelukt bodemkernen van ongeveer een meter diep te verzamelen.

Ook op de Zuidpool komt dergelijk *poolveen* voor, en daar heeft Peter Boelen bodemkernen gestoken.

Ik noemde u dat deze veenbodemkernen een archief vormen van in de loop der tijd neergedwarrelde stuifmeelkorrels. In de bodemkernen van Spitsbergen komt veel stuifmeel voor van de Poolwilg, die we goed kunnen



herkennen.

Van de bloeiende poolwilg op Spitsbergen hebben we stuifmeel verzameld.

We hebben vervolgens stuifmeelkorrels uit de veen-laagjes verzameld, uitgezocht van welke plantensoort het stuifmeel afkomstig is, en geteld hoeveel stuifmeelkorrels van elke

plantensoort voorkomen. Verder wordt van een aantal veenlaagjes met de C-14 methode de ouderdom bepaald.

Zo krijgen we een pollendiagram waaruit we kunnen opmaken hoe de vegetatiesamenstelling de afgelopen eeuwen is geweest. Uit een kern van Spitsbergen van zo'n 500 jaar oud, kunnen we afleiden dat een relatief koude periode van zo'n 500 jaar geleden, is gevolgd door een geleidelijk aan warmere periode. We gaan er daarbij van uit dat het voorkomen van een steenbreesoort (*Saxifraga oppositifolia*), relatief koude omstandigheden indiceert en dat het voorkomen van de poolwilg (*Salix polaris*) een wat milder klimaat weerspiegelt.

Zonneactiviteit en het klimaat op aarde

Wat weten we eigenlijk over het klimaat en de ozonlaag en UV-B straling in het verleden? Dat is niet zoveel.

Wat we aan de weet willen komen, is de situatie vóór het ozongat boven de Zuidpool. En wel in het bijzonder of er variatie in UV-B straling en in de dikte van de ozonlaag is geweest.

Eigenlijk weten we alleen van de oertijd van de aarde, dat er geen of weinig zuurstof in de atmosfeer was, dat er geen ozonlaag was, dat er een hoge UV-B straling was en dat er alleen leven diep in het water bestond.

Van vòór 1920 zijn er geen betrouwbare instrumentele metingen van UV-B en ozon.

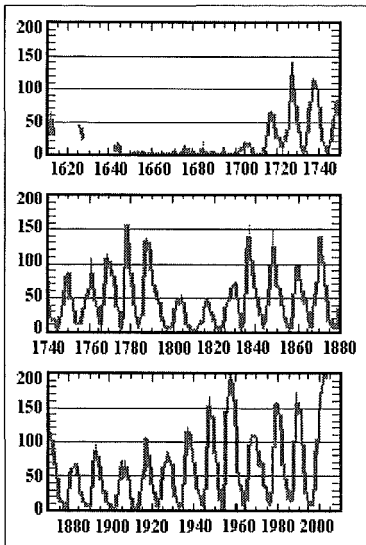
Onderzoek van de Amerikaanse onderzoeker Dr Judith Lean, heeft ons geholpen om toch ook over de periode van vòór 1920 uitspraken te doen over UV-B en

ozon.

Judith Lean beschikt over tellingen van zonnevlekken die teruggaan tot ongeveer 1600. Zo weten we dat de beroemde onderzoeker Galileo Galilei systematisch zonnevlekken observeerde en telde. En zonnevlekken zijn gecorreleerd met zonneactiviteit.

En verder klopt het, dat van de Kleine IJstijd en het Dalton Minimum, waarvan we weten dat het erg koud was, het aantal zonnevlekken erg laag was. En het is duidelijk dat er een elfjarige zonnevlek-cyclus is. En mogelijk wisselt de activiteit van de zon met een tijdschaal van een eeuw of een millenium.

Nu blijkt het aantal zonnevlekken een goede maat te zijn voor de zonneactiviteit, de zonnestraling. En van de zonneactiviteit



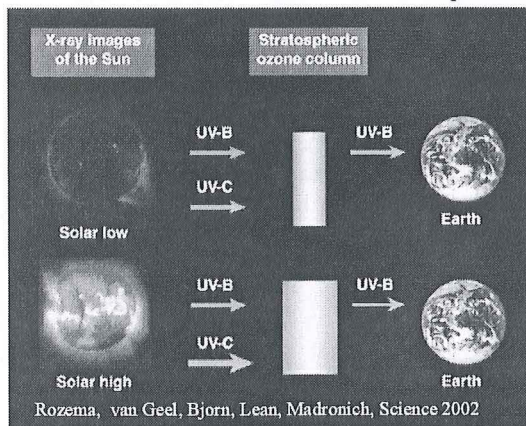
weten we, dat deze het klimaat op aarde bepaalt. Wanneer de zon minder actief is, is het kouder op aarde en omgekeerd.

Voor de correlatie tussen het aantal zonnevlekken en het klimaat op aarde bestaat bijzonder bewijsmateriaal. Van de periode 1645-1710 is bekend, dat er nauwelijks zonnevlekken zichtbaar waren en uit wintertaferelen die in die periode geschilderd zijn, valt duidelijk op te maken, dat er strenge vorst optrad in Nederland.

Van de elfjarige zonnevlekcyclus blijken we dus onder andere dankzij Galilei tellingen te hebben, die tot een paar eeuwen teruggaan.

Ook in het heden is er sprake van zonnevlekcyclus, die we met geavanceerde satellieten kunnen bestuderen.

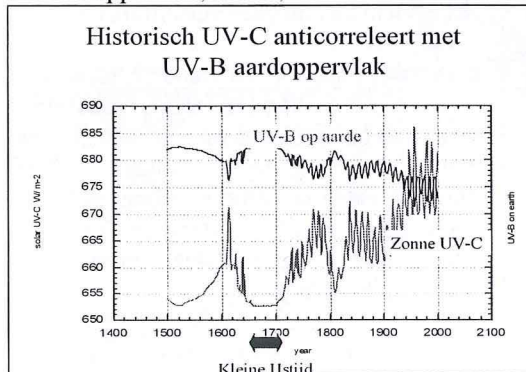
Zonneactiviteit anticorrelleert met UV-B op aarde



Uit nauwkeurige stralingsmetingen van de NASA onderzoekster Dr Judith Lean van de laatste elf-jarige zonnevlekcyclus met behulp van de satellieten, gebleken dat bij een maximum van zonnevlekken en dus ook een maximum van zonneactiviteit, de zon vooral meer kortgolvlige UV-C straling uitzendt en

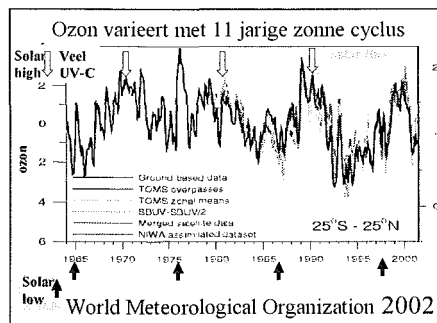
nauwelijks meer UV-B straling.

En we weten dat het vooral UV-C straling is, die in de stratosfeer, hoog boven het aardoppervlak, maakt, dat er netto meer ozon gevormd wordt. Bij een



maximum van zonneactiviteit (een solar high), zendt de zon vooral meer UV-C uit, waardoor een dikkere ozonlaag ontstaat die minder UV-B straling doorlaat.

Bij een actieve zon bereikt dus minder UV-B de aarde, dat wil zeggen dat er een anti-correlatie bestaat tussen zonneactiviteit, UV-C en UV-B op aarde.



Uit een rapport van de WMO (World Meteorological Organization) uit 2002, blijkt inderdaad dat ozon in de atmosfeer anticorreleert met zonneactiviteit en dus het patroon volgt van de elfjarige zonnevlekecycli: dat wil zeggen bij een actieve zon veel UV-C straling en veel aanmaak van ozon.

Lopend en gepland onderzoek

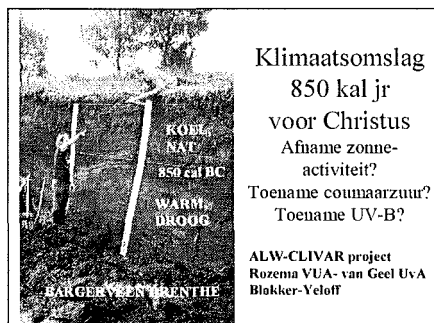
Ik geef u tenslotte nog een kort overzicht van ons lopende en geplande onderzoek.

Op de Noord- en Zuidpool stellen we planten met lampen bloot aan verhoogde UV-B straling, waarmee 15, 30 of 50 % afbraak van de ozonlaag wordt nagebootst.

Verder meten we coumaarzuur en flavonoiden in recent en fossiel stuifmeel en daarmee willen we te weten komen hoe het vòòr het ozongat was en hoe het de laatste eeuwen met UV-B traling en ozon gesteld was, en of klimaatveranderingen met zonnestraling samenhangen.

Verder onderzoeken we de mogelijkheden van de chemie van hout om het klimaat in het verleden te reconstrueren. De bouwstenen van hout, de zogenaamde monolignolen, kunnen ons wellicht informatie geven over UV-B, CO₂ en temperatuur in het verleden en mogelijk niet alleen in het recente verleden maar ook misschien miljoenen jaren geleden.

Zo onderzoeken we in samenwerking met Dr Bas van Geel van de Universiteit



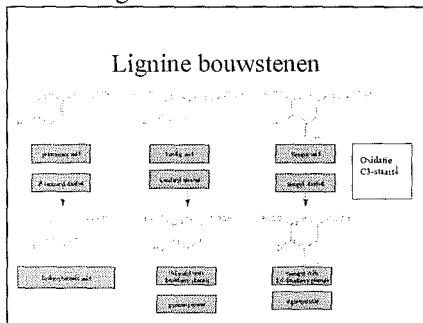
van Amsterdam, of een plotselinge klimaatomslog die rond 850 voor Christus optrad, in verband kan worden gebracht met verandering van zonneactiviteit, door de coumaarzuurgehaltes van stuifmeelkorrels en sporen van mossen te meten.

Uit veenkernen afkomstig van het Bargerveen is vastgesteld dat rond 850 kalender jaren voor Christus het

klimaat binnen enkele tientallen jaren veranderde van warm en droog naar koel en nat.

Chemie van hout als nieuwe klimaat-bio-proxy

En dan nog kort wat over de chemie van hout als drager van informatie van het klimaat.



Men stelt zich voor dat lignine een drie dimensionaal netwerk is van drie verschillende aromatische verbindingen, coumaryl-alcohol, sinapyl-alcohol en coniferyl-alcohol.

Deze bouwstenen van lignine vormen worden wel monolignolen genoemd. Deze monolignolen zijn aromatische groepen en worden door UV-B

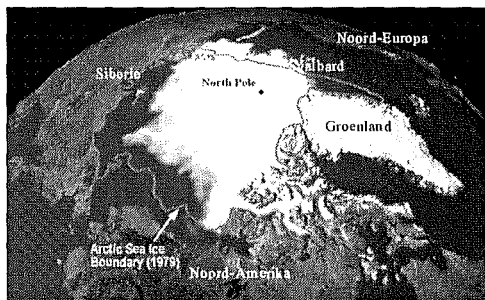
geïnduceerd.

Er is nog maar weinig van van lignine en monolignolen bekend. Het is wel opvallend, dat in naaldbomen coniferyl-alcohol voorkomt. En dat de verhouding van de drie monolignolen bij Bedektzadigen en Naaktzadigen sterk verschilt. In het lignine van kruidachtige gewassen komt relatief veel sinapyl-alcohol voor. Voor het klimaatreconstructie onderzoek met hout is het verder van bomen van groot belang, dat ze honderden jaren lang bewaard kunnen blijven en dat er in het hout jaarringen voorkomen. Dat betekent dat er elk jaar een nieuwe laag lignine wordt gevormd.

Onze verwachting is dat de chemie van het elk jaar gevormde hout informatie bevat van het heersende klimaat, dus de neerslag en de temperatuur, en ook de UV-B straling en het CO₂ gehalte van de atmosfeer.

Dat wil zeggen dat dit mogelijk een nieuwe hoge resolutie klimaatproxy oplevert.

De mens beïnvloedt het klimaat van de aarde



Afsmelten Noordpoolijskap/Zeeijs 1979- 2003

Bron: NASA

Een paar maanden geleden lieten satellietfoto's van de NASA, die op het NOS journaal getoond werden, ons allemaal schrikken. De foto's lieten zien dat vanaf 1979 tot 2003, dus in 24 jaar tijd, het ijs op de Noordpool aanzienlijk is gesmolten.

We kunnen daar niet anders uit concluderen, dan dat de aarde snel opwarmt en dat het poolijs snel smelt.

Waar Willem Barentsz ruim vier honderd jaar geleden er in 1596 niet in slaagde, en op Nova Zembla moest overwinteren, lijkt de doortocht over de Noordpool naar Azië binnenkort werkelijkheid te worden.

Percentage verandering Totaal Ozon	
DOOR DE MENS	
• Gat Ozonlaag (door CFK's) 1900-2000	50-70 %
NATUURLIJK	
• 11 jarige zonne vlek cyclus	3-7 %
• Eeuw /Millenium Δ zonneactiviteit	6-15 %
- Kleine IJstijd 1645-1715 - abrupte Klimaatverandering 850 voor Chr. - droog warm > koel vochtig	

We weten ook dat het ozongat aan de zuidpool afgelopen september weer bijna een record-grootte bereikte.

En van het ozongat weten we, dat het zonder enige twijfel door de mens is veroorzaakt.

De variatie in ozon, die samenhangt met natuurlijke veranderingen in zonneactiviteit is duidelijk veel minder.

De emissie van CFK's is gestopt en toch

blijft de ozonafbraak al enkele tientallen jaren plaatsvinden. Dat mag zeer alarmerend worden genoemd.

Tot slot

Ik hoop ik u zo te hebben uitgelegd, dat klimaat en biosfeer van het systeem aarde voortdurend met elkaar in wisselwerking zijn. Het kooldioxide gehalte van de atmosfeer blijft toenemen. De aarde warmt op, het poolijs smelt, er is (en blijft) een ozongat en de aarde ontvangt meer UV-B.

We kunnen er niet onder uit, dat menselijke activiteit het klimaat van de aarde beïnvloedt.

We mogen van geluk spreken dat mens, plant en dier goed aangepast blijken te zijn aan verhoogde UV-B straling. Maar deze aanpassingen waren zo'n twintig, dertig jaar geleden nog niet bekend.

Ik denk dat het met de gevolgen van het ozongat met een sisser is afgelopen. Het had echt veel erger kunnen zijn.

Ik spreek de wens uit dat ons onderzoek over klimaat-biosfeer interacties er aan bijdraagt, zorgvuldig met de aarde om te gaan.

Mijnheer de Rector, dames en heren,

Aan het einde van deze rede wil ik graag enkele woorden van dank uitspreken. Ik dank het bestuur van de Faculteit Aard- en Levenswetenschappen en het College van Bestuur voor het in mij gestelde vertrouwen.

In het bijzonder wil ik professor Rien Aerts, afdelingshoofd Systeemecologie en voorzitter van het Klimaatcentrum aan de VU en Directeur van het Instituut voor Ecologische Wetenschappen, hartelijk bedanken. Hij heeft in korte tijd na zijn

aanstelling in 1997 op zeer succesvolle wijze het klimaatonderzoek van biologen, geologen en milieukundigen geïntegreerd en gestimuleerd.

Hij is een uitstekend en inspirerend onderzoeksleider en de samenwerking die we binnen de afdeling Systeemecologie hebben, waardeer ik bijzonder.

Ik wil mijn leermeester en promotor professor Wilfried Ernst hartelijk bedanken, met wie ik gedurende zo'n twintig jaar planten-ecofysiologisch onderzoek heb mogen verrichten. De ecofysiologie van planten is een uitstekende basis voor de systeemecologie. We hebben samen zeker zo'n tien promotiemedewerkers begeleid.

Ik dank de collega's van Straalen, Verhoef, van Gestel en Verkleij en andere medewerkers van de afdelingen binnen het Instituut voor Ecologische Wetenschappen, met wie ik plezierig samenwerk in onderzoek en onderwijs.

Ik dank de collega's binnen het Klimaat Centrum van de VU voor de samenwerking met hen. De bundeling van expertise die de VU zo heeft op het gebied van klimaatonderzoek mag uniek genoemd worden.

Ik dank de medewerkers van de divisie Scheikunde, Analytische Chemie en Toegepaste Spectroscopie, voor de plezierige samenwerking de laatste jaren.

Ik dank de Rector, Professor Pier Vellinga, decaan van de Faculteit Aard- en Levenswetenschappen nog in het bijzonder voor het stimuleren van Biosaliene Innovaties en het oprichten en financieren van het BioSalien Innovatie Centrum aan de VU met Drs Henk-Jan Wiesenekker als Directeur. Dit initiatief biedt grote perspectieven.

Ik dank alle medewerkers en studenten van de afdeling Systeemecologie. Ik had ik 1997 echt niet kunnen denken dat het oude en nieuwe onderzoek zo goed op elkaar zou aansluiten. Het is uniek dat onze Master studenten de gelegenheid hebben op de Noordpool onderzoekstages te verrichten.

Ik dank het koor *Good Company* onder leiding van Kees Borst voor het prachtige *O Magnum Mysterium* dat hier in de aula klonk. 17 jaar zingen in het koor *Good Company* betekent dat muziek een onmisbaar deel van mijn levensgeluk is geworden.

Ik dank mijn familie en schoonfamilie voor de steun en waardering die ik van ze heb mogen ontvangen. Het is jammer dat vader en moeder dit niet hebben mogen meemaken. Wat zouden ze trots zijn geweest. Wat was moeder blij en trots toen ze op haar verjaardag in 1999 een e-mail van mij van de Zuidpool ontving.

Ik ben mijn broer en zussen dankbaar voor hun vriendschap en ben er trots op dat ze er vandaag bij zijn.

Ik dank onze neven en nichten, vrienden, en burens. Jullie zijn met velen gekomen en dat doet heel goed. Ik ben trots op de band die we met elkaar hebben.

Ik dank ook mijn schoonvader, wiens gezondheid het niet toelaat, hier aanwezig te zijn.

Ik dank Els, Hylke, Evelien en Jouke voor het geduld dat jullie met mij hebben en hebben gehad. Maar misschien viel het ook wel mee. Op vakantie in Oostenrijk hebben we met zijn allen met heel veel plezier bladdiktes van alpenplanten gemeten.

En dat was echt heel leuk.

En op Spitsbergen, *Els*, zagen we geen ijsberen, maar hebben we wel *intens* genoten van de *overweldigende stilte, uitgestrektheid en de schoonheid* van de Noordpool.

Tot slot dank ik u allen voor uw aanwezigheid en aandacht.

Ik heb gezegd.

Geraadpleegde literatuur

- Aerts, M.A.P.A. 1998. Stabiele isotopen, stabiele oecosystemen? Inauguratie Systeemecologie. Pp. 22.
- Bergen, P.F. van, Blokker, P., Collinson, M.E., Sinninghe Damsté, J.S., de Leeuw, J.W. 2004. Structural biomacromolecules in plants: what can be learnt from the fossil record? In: The evolution of plant physiology A.H. Hemsley & I. Poole (Eds). Elsevier. Pp.133-154.
- Bergen, P.F. van, Poole, I. 2002. Stable carbon isotopes of wood: a clue to palaeoclimate? *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 182, 31-45.
- Berner, R.A. 1993. Paleozoic atmospheric CO₂: importance of solar radiation and plant evolution. *Science* 261, 68-70
- Bjerke, J.W., Zielke, M., Solheim, B. 2003. Long-term impacts of simulated climatic change on secondary metabolism, thallus structure and nitrogen fixation activity in two cyanolichens from the Arctic. *New Phytol.* 159, 361-367.
- Day, T.A., Ruhland, C.T., Grobe, C.W., Xiong, F. 1999. Growth and reproduction of Antarctic vascular plants in response to warming and UV radiation reductions in the field. *Oecologia* 119: 24-35.
- De Bakker, N.V.J., van Beem, A.P., van de Staaij, J.W.M., Rozema, J., Aerts, R. 2001. Effects of UV-B radiation on a charophycean alga, *Chara aspera*. *Plant Ecology* 154, 239-246.
- Dorrepaal, E., Aerts, R., Cornelissen, J.H.C., Callaghan, T.V., van Logtestijn, R.S.P. 2004. Summer warming and increased winter snow cover affect *Sphagnum fuscum* growth, structure and production in a sub-arctic bog. *Global Change Biology* 10, 93-104.
- Farman, J.C., Gardiner, B.G., Shanklin, J.D. 1985. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. *Nature* 315, 207-210
- Hessen, D.O. 2002. (Ed). UV radiation and arctic ecosystems. *Ecological studies* 153. Springer Berlin. Pp. 321.
- Hooykaas, R. 1971. Geschiedenis der Natuurwetenschappen. Van Babel tot Bohr. A. Oosthoek's Uitgeversmaatschappij NV. Utrecht. Pp. 289.
- Hoyt, D.V., Schatten, K.H. 1997. The role of the sun in climate change. Oxford University Press.
- Humphreys, J.M., Chapple, C. 2002. Rewriting the lignin roadmap. *Current Opinions in Plant Biology* 5, 224-229.
- Lean, J. Beer, J., Bradley, R. 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change. *Geophys. Res. Letters* 22, 3195-3198.
- Leuschner, H.H., Sass-Klaassen, U., Jansma, E., Baillie, M.G.L., Spurk, M. 2002. Subfossil European bog oaks: population dynamics and long-term

- growth depressions as indicators of changes in the Holocene hydro-regime and climate. *Holocene* 12, 695-706.
- Lewis, N.G., Yamamoto, E. 1990. Lignin: occurrence, biogenesis and biodegradation, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 41, 455-496.
- Lud, D. 2001. Biotic responses to UV-B in Antarctica. Ph. D. Thesis. Vrije Universiteit, NIOO, Yerseke.
- Meijkamp, B.M., Aerts, R., van de Staaij, J., Tosserams, M., Ernst, W., Rozema, J. 1999. Effects of UV-B on secondary metabolites in plants. Pp.71-100. In: J. Rozema. *Stratospheric Ozone Depletion. The effects of enhanced UV-B radiation on terrestrial ecosystems*. Pp. 355. Backhuys Publishers, Leiden.
- Newman, P., Gleason, J., McPeters, R., Stolarski, R. 1997. Anomalously low ozone over the arctic. *Geophysical Research Letters* 24, 2689-2692.
- Rønning, O. I. 1996. The Flora of Svalbard. *Polarhandbok*. No 10. Norsk Polar Institutt, Pp.184.
- Rousseaux, M.C., Ballaré, C.L., Giordano, C.V., Scopel, A.L., Zima, A.M., Szwarcberg-Bracchitta, M., Searles, P.S., Caldwell, M.M., Diaz, S.B. 1999. Ozone depletion and UV-B radiation: Impact on plant DNA damage in southern South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 96, 15310-15315.
- Rozema J, Bjorn, L.O., Bornman, J. F. et al. 2002. The role of UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems - an experimental and functional analysis of the evolution of UV-absorbing compounds. *J. Photochem. Photobiol.* 66, 2-12.
- Rozema, J., Noordijk, A.J., Broekman, R.A., Beem, A. van, Meijkamp, B.M., Bakker N.V.J., de Stroetenga, M., Bohncke, S. J. P., Konert, M., Kars, S.M, Peat, H.E., Smit, R.I.L., Convey, P. 2001. (Poly)phenolic compounds in pollen and spores of plants as indicators of solar UV-B: a new proxy for the reconstruction of past solar UV-B. *Plant Ecology* 154, 49-58.
- Rozema, J. 1999. *Stratospheric Ozone Depletion. The effects of enhanced UV-B radiation on terrestrial ecosystems*. Pp. 355. Backhuys Publishers, Leiden.
- Rozema, J., Broekman, R., Lud, D., Huiskes, A. H. L., Moerdijk, T., de Bakker, N.V.J., Meijkamp, B. M., van Beem, A. 2001. Consequences of depletion on stratospheric ozone for terrestrial Antarctic ecosystems: the response of *Deschampsia antarctica* to enhanced UV-B radiation in a controlled environment. *Plant Ecology* 154, 101-115.
- Rozema, J., Geel, B. van, Bjorn, L.O., Lean, J. Madronich, S. 2002. Palaeoclimate. Toward solving the UV puzzle. *Science* 296, 162-1622
- Rozema, J., Gieskes, W., Geijn, S.C. van de, Nolan, C., de Boois, H. 1997. *UV-B and Biosphere*, Kluwer Acad. Publ. Dordrecht.
- Rozema, J., Boelen, P., Solheim, B., Buskens, A., Doorenbosch, M., Fijn R., Herder, J., Callaghan, T.V, Bjorn, L.O., Gwynn Jones, D. 2004.

- Stratospheric ozone depletion: effects of increased UV-B radiation on high arctic tundra vegetation. *Plant Ecology*. In press.
- Rozema, J., Broekman, R., Blokker, P., Meijkamp, B. M., Bakker, N.V. de, Staij, J. van de, Beem, A. van, Arieze, F., Kars, S. M. 2001. UV-B absorbance and UV-B Absorbing Compounds (*para*-coumaric acid) in pollen and sporopollenin: the perspective to track historic UV-B. *J. Photochem. Photobiol*, 62, 108-117.
- Rozema, J., Manetas, Y., Björn, L.O. (Eds). 2001. Responses of plants to UV-B radiation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Pp. 278.
- Rozema, J., Staij, J. van de, Björn, L.O. & Caldwell, M.M. 1997. UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation. *Trends Ecol. & Evol.* 12, 22-28.
- Ruhland, C.T., Day, T. A. 2000. Effects of ultraviolet-B radiation on leaf elongation, production and phenylpropanoid concentrations of *Deschampsia antarctica* and *Colobanthus quitensis* in Antarctica. *Physiol. Plant.* 109, 244-251.
- Searles, P.S., Flint, S.D., Caldwell, M.M. 2001. A meta-analysis of plant field studies simulating stratospheric ozone depletion. *Oecologia* 127, 1-10.
- Shindell, D., T., Rind, D., Lonergan, P. 1998. Increased polar stratospheric ozone losses and delayed recovery owing to increasing greenhouse-gas concentrations. *Nature* 392, 589-592.
- Solheim, B., Johanson, U., Callaghan, T.V., Lee J. A., Gwynn-Jones D., Björn, L.O. 2002. The nitrogen fixation potential of arctic cryptogram species is influenced by enhanced UV-B radiation. *Oecologia* 133, 90-93.
- Wehling, K., Niester, Ch., Boon, J.J., Willemse, M.T.M., Wiermann, R. 1989. *p*-Coumaric acid - a monomer in the sporopollenin skeleton. *Planta* 179, 376-380.

<http://climate.gsf.nasa.gov>

<http://www.atm.ch.cam.ac.uk>

<http://www.nerc-bas.ac.uk>

<http://www.unep.org>

<http://www.wmo.ch>



onderzoeken doorgeven veronderstellen bevestigen luister
geven veronderstellen bevestigen luisteren verwonderen waarnemen verwijzen vergelijken verbind
en doorgeven veronderstellen bevestigen luistere
oeken doorgeven veronderstellen bevestigen luisteren v
zoeken doorgeven veronderstellen bevestige
oeken doorgeven veronderstellen bevestigen luisteren verwonderen waarnemen verwijzen vergelij
erzoeken doorgeven veronderstellen bevestigen luisterer
wonderen waarnemen verwijzen vergelijken verbinden toetsen onderzoeken doorgeven veronderstel



VU Boekhandel/Uitgeverij Amsterdam
ISBN 90 - 5383 - 918 - 6